



BOZUK KALIP ELEMANIN TERSİNE MÜHENDİSLİK UYGULAMASI İLE İMALATI

Mehmet Mahir SOFU*

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi (ISUBU), TBMYO Makine Programı Isparta/TÜRKİYE

Anahtar Kelimeler

*Tersine mühendislik,
Bilgisayar destekli tasarım
ve imalat,
Enjeksiyon kalıbı tamiri,
Spline düzeltme,
Sürdürülebilirlik.*

Öz

Metal ve plastik enjeksiyon ile seri imalat yapan işletmelerin kilit elemanları kalıplardır. Büyük baskı adetlerinin getirdiği yorgunluk, aşınma ve baskı sırasında kalıp arasında sık parça sıkışması neticesinde oluşan yüksek kuvvetler kalıp elemanlarının zamanla deforme olmasına neden olmaktadır. Bu durumda kalıbın revize edilmesi veya bozuk parçaların yeniden imal edilmesi gerekmektedir. Doğrusal olmayan geometrideki parçaların imalatı için bilgisayar ortamında üç boyutlu(3D) katı model verileri gerekmektedir. Eğer bu verilere ulaşılmaz ise genellikle Tersine Mühendislik (TM) uygulaması yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada, tan itriyat sanayi ve tic. şti. firmasına ait teknik resimleri ve 3D katı model verisi olmayan atıl durumdaki bir kalıbının doğrusal olmayan yüzeye sahip bozuk bir parçasının TM uygulaması içerisinde 3D tarayıcı ile tarama yaparak iki boyutlu (2D) tarama verileri elde edilmiş. Çalışmada, TM uygulamasında geometrinin uzun süren matematiksel bağıntılara ihtiyaç olmadan kısa süre içerisinde SolidWorks Bilgisayar Destekli Tasarım programında (BDT) aşınmış olan bölgeleri kolay teknikler ile düzelterek katı model elde edilmiştir. Elde edilen katı model bilgisayar destekli imalat (CAM) yazılımı SolidCAM programında imalata hazırlanmış ve CNC dik işleme tezgâhında imal edilmiştir. İmal edilen parça tekrar kalıba monte edilerek kalıptan başarılı bir baskı alınmıştır. Aynı zamanda yeniden üretilen kalıp elemanı ile kalıba ait olamayan başka bir ara ürün ile montajlı çalıştığı bilinmektedir. Bu ara üründe 2D tarama verileri ile karşılaştırmalı sonucu paylaşılmıştır. Çalışmada, seri bir TM uygulaması yaparak yeni kalıp yapım maliyeti olmadan ve örnek bir sürdürülebilir imalata örnek üretim yapılmıştır.

MANUFACTURING OF DEFECTED MOLD PART BY REVERSE ENGINEERING APPLICATION

Keywords

*Reverse engineering,
Computer aided design and
manufacturing,
Injection mold repair,
Spline correction,
Sustainability.*

Abstract

In the mass-produced enterprises of metal and plastic injection, the high forces resulting from fatigue, abrasion and frequent parting between the molds during printing caused by large print pieces cause the die elements to become deformed with time. In this case, it is necessary to revise the mold or to remake the defective parts. For production of non-linear geometric parts, 3D solid model data is required in technical drawing or computer environment. If this cannot be achieved, generally Reverse Engineering (TM) application is required. In this study, an injection mold of the Tan itriyat industry company was worked on. 2D scan data were obtained by scanning with a 3D scanner in a TM application of a broken part having a non-linear surface of a mold in a non-working state and absent 3D solid model data. In the study, solid geometry models were obtained by straightforward techniques that corrected the eroded areas in the SolidWorks Computer Aided Design program (CAD) within a short period of time without the need for long mathematical correlations of geometry in TM application. The obtained solid model was prepared in the SolidCAM program and the parts were machined in CNC vertical machining center with G and M codes obtained. It is also known that another product is assembled with the mold element being worked on. The result was compared with 2D scanning data in this intermediate product and the result was shared. Successfully printed from the mold using the produced part. In this study, a series of TM applications were carried out without the cost of new mold making and with an exemplary sustainable production.

* İlgili yazar / Corresponding author: mehmetsofu@isparta.edu.tr, +90-246-211-1918

Alıntı / Cite

Sofu M.M., (2019). Bozuk Kalıp Elemanın Tersine Mühendislik Uygulaması İle İmalatı, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(2), 272-281.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

M. M., Sofu, 0000-0002-0010-0832

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	26.03.2018
Revizyon Tarihi / Revision Date	23.11.2018
Kabul Tarihi / Accepted Date	31.12.2018
Yayın Tarihi / Published Date	26.06.2019

1. Giriş

Günümüzde imalat teknolojilerinin gelişmesi ile birlikte üretilen ürünlerdeki geometrik özellikler oldukça karmaşık yapıda olabilmektedir. Özellikle CNC tezgâhların mikron hassasiyetindeki çalışma şartları ve doğrusal olamayan yüzey işleme kabiliyetleri bu yapıdaki parçaların kolaylıkla imalatını sağlamaktadır. Diğer yandan 3D yazıcı teknolojisindeki ilerlemeler ile istenilen geometrideki her türlü parçanın imalatının yapılabileceğini kanıtlanmıştır (Ayyıldız ve Göloğlu, 2009; Hu ve Sheu, 2000).

Kalıp endüstrisi, özellikle plastik ve metal enjeksiyon kalıpcılığı seri imalatın yapı taşı oluşturmaktadır. Sektörde kullanılan kalıplar bilgisayar ortamında tasarlanarak CNC tezgâhlarda imal edilerek oluşturulmaktadır (Sokovic ve Kopac, 2006).

Aşınmalar ve yüksek kuvvetler gibi nedenlerden dolayı kalıp elemanlarında oluşan deformasyonların giderilmesi veya yeniden yapılması için kalıba ait tasarım verilerine ihtiyaç duyulmaktadır (Ruan vd., 2007; Ayyıldız ve Göloğlu, 2009). Eğer tasarım verilerine ulaşılamıyorsa bozuk parçanın tamiri için mutlaka TM uygulaması yapılması gerekmektedir. TM uygulaması süreci, bozuk parçaların yeniden imalatı veya bozuk parçanın bozuk bölgesinin tamiri şeklinde iki yöntem altında incelenebilir (Ruan vd., 2007). Ruan vd. (2007) çalışmada bozuk otomobil kalıplarının tamirini içeren bir çalışma yapmıştır. İki yöntem arasındaki fark biri bozuk parçanın ya da yapının yeniden imalatı diğeri ise parçanın tamir edilmesidir. Bozuk parça veya parçaların tamir edilmesi sürdürülebilir imalatın bir gerekliliğidir. Bu gereklilik, ekonomik değeri yüksek olan ürünlerin hurdaya ayırmadan tamir edilebilmesi hem yenisinin imalatı için gerekli maliyeti hem de daha az enerji kullanımı ile imalat süresindeki karbon ayak izini azaltmaktadır. (Chen ve Lin, 2000). Diğer yandan bozuk parça tamirinde günümüzde eklemeli imalat yöntemleri de kullanılmaya başlanmıştır. Fakat bu yöntemler hala yüksek maliyetlidir. DMU MORI (2018) firmasının geliştirdiği hibrit tezgâh ile ekonomik değeri yüksek parçaların, eklemeli imalat içeren tamiratları kolaylıkla yapılabilmektedir. Sokovic ve Kopac (2006) çalışmada her TM yönteminde 3 boyutlu(3D) tarayıcı kullanılarak mevcut parçanın üzerinden nokta, çizgi veya üç boyutlu yüzey bilgileri çıkartılmaktadır. Çıkan veriler CAD/CAM yazılımında kullanılarak G ve M kodları elde edilmiş ve CNC Tezgâh

ile tarama verileri tekrar katı modele dönüştürülmüştür (Milroy M.J. vd, 1995; Hu ve Sheu 2000).

Ayrıca farklı amaçlar için TM uygulaması yapılması mümkündür. Hsiao ve Chuang (2003) de günlük hayatta kullanılan objelerin geometrilerinden yararlanarak görsel farklı amaç için kullanılan objelere dönüşümünü sağlayan yöntemden bahsetmektedir. Tam vd. (2007) tüketici ürünlerinin paketlenmesinde kullanılan Termoform kalıplarının tasarlanmasında kullanmıştır.

Ayyıldız ve Göloğlu (2010) bir çalışmada dişli çarkların profillerinin tarama verileri ile çıkartılarak bu veriler ile dişli çark hesaplarında kolaylık sağladığını ve yeni yapılacak standart olmayan diş formlarının oluşturulabileceğini belirtmiştir.

Yüzey geometrisi bozulmuş parçaların özellikle kalıp elemanlarının 3D tarama sonucu elde edilen verilerinde de bozuk kısımlara ait veriler bulunmaktadır. TM uygulamasında karşılaşılan en büyük problem bozuk geometriye ait olan verilerin düzeltilmesidir (Chen ve Lin., 2000; Budak vd. 2005; Ruan vd., 2007). Bozuk olan bu veriler üzerinde çeşitli teknik tasarım ve çizim uygulamaları yapılabilmektedir. Daha karmaşık hatalarda veriler üzerinde çeşitli matematiksel modeller geliştirerek tamir edilmeye çalışılmaktadır (Ruan vd., 2007). Fakat her çalışmada yeni bir matematiksel bağıntı oluşturmak zaman alan bir durumdur (Tam vd., 2007). Milroy vd.(1995), Piegl ve Tiller (2001), Ma ve Kruth (1998), çalışmalarında tasarıma ait verilerin matematiksel formüller geliştirilerek düzeltilmesinin etkin bir rol üstlendiğini fakat bu sürecin oldukça uzun ve hata yapma riski içerdiğini de belirtmiştir.

Tasarım programlarında, hazır fonksiyonlara sahip komutları kullanarak daha hızlı ve verimli çözümler elde edilebilmektedir (Ye vd. 2008).

Budak vd. (2005) son yıllarda 3D tarama metodlarının geliştiği ve iyileştiğini fakat hala tarama verilerinin düzeltilmesinde problem yaşandığını bu durum da süreci yavaşlattığını belirtmiştir. Çalışmada 3D tarama verilerini, filtreleme (filtering) ve yumuşatma (smoothing) içeren beş basamaktan oluşan ön işleme tekniklerini kullanarak üretim için daha hızlı bir sonuç yakaladıklarını belirtmiştir.

Günümüzde arızalı tarama verileri içeren nokta bulutları CAD ortamında, curve, spline ve yüzey verileri çeşitli matematiksel formüller ile oluşturulmuş komutlar kullanılarak düzeltilebilmektedir (Hsiao ve Chuang, 2003; Ye vd. 2008). Bu komutlar SolidWorks yazılımında kullanılan; fit-spline, interpolasyon spline, Simplify spline, equation driven curve dir. Benzer birçok CAD programında çalışan komutlarda bulunmaktadır (Budak vd., 2005; Thoma M.,2013; CADArtifex, 2018). Mesela, equation driven curve, SolidWorks'te spline oluşturmak için kullanıcı tarafından geliştirilen matematiksel formül kullanılmasını sağlayan komuttur (CADArtifex, 2018).

Altuğ ve Zeyveli (2011) çalışmasında farklı CAD programlarının tarama verilerinin işleme performansını karşılaştırmaları üzerine bir çalışması bulunmaktadır.

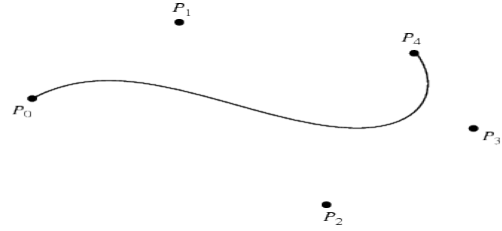
Tam vd. (2007) çalışmasında eğrileri düzenlemek ve değiştirmek için laplasyan operatörünün uygulanmasıyla önceden rastgele ayarlanmış tüm nokta setinin düzeltilmiştir. Laplasyan operatörünün yumuşatma prensibi, komşu noktalarının ortalama konum değerinin belirli bir kısmını dâhil ederek ortadaki noktanın yeni bir pozisyona hafifçe hareket etmesidir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

3D tarayıcılar günümüzde temaslı ve temassız olarak iki gruba alınmaktadır (Teke İ. Vd., 2013). Temasla çalışan tarama cihazlarında parça yüzeyine temas eden çeşitli çaplarda problemler kullanılmaktadır. Bu problemler tarama hızına ve hassasiyetine bağlı olarak belli aralıklar ile notlar oluşturmaktadır. Bu noktaların x,y,z eksenlerinde koordinatları bellidir. Oluşturulan noktalar daha sonra spline veya curve olarak bilinen eğrilere dönüştürülmektedir (Soković ve Kopac, 2006; Berbercuma G. 2006). Bu eğriler; Splines; eğrileri oluşturacak noktalar arasındaki eğrisel şekli, enterpolasyon yoluyla pürüzsüzleştiren matematiksel bağıntı tarafından oluşturulur. Birkaç farklı matematiksel model ile başlıklara ayrılmıştır (Karabulut ve Sarıdemir, 2009; Bartels R.H.,1987) (Wolfram Mathworld(1), 2018).

Bezier eğrisi (Bezier curve); Bu eğriler Renault firmasında çalışan Fransız mühendis P. Bezier tarafından otomobil kaporta yüzeylerinin az sayıda parametreyle değiştirilerek kontrol edilebilen eğrilerle tanımlanabilmesi için 1960 da geliştirilmiştir (Yükselen M.A.,2018).

Şekil 1'de verilen bir dizi $n + 1$ kontrol noktaları P_0, P_1, \dots, P_n karşılık gelen Bezier eğrisi Bernstein polinomu ile verilir(Wolfram Mathworld(2), 2018).



Şekil 1. Verilen bir dizi $n + 1$ kontrol noktaları karşılık P_0, P_1, \dots, P_n gelen Bezier eğrisi

Bezier eğrisi matematiksel eşitliği (1) bağıntısından faydalanarak (2) bağıntısındaki gibi bulunur.

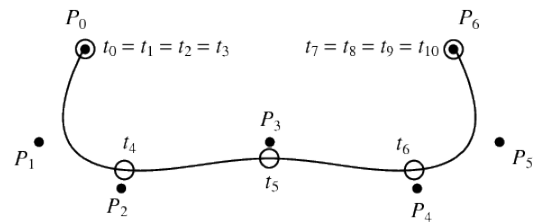
$$C(t) = \sum_{i=0}^n P_i B_{in}(t) \quad (1)$$

$B_{in}(t)$ Bernstein polinomu temsil etmektedir (Milroy M.J. vd, 1995).

$$C(t) = \frac{\sum_{i=0}^n B_{i,p}(t) w_i P_i}{\sum_{i=0}^n B_{i,p}(t) w_i} \quad (2)$$

Bu bağıntıda p diziyi, $B_{in}(t)$ bernstein polinomu dur, P_i kontrol noktalarıdır ve w_i P_i 'nin w_i ağırlığı ve homojen P_i^w 'nin son ordinatıdır (Bartels R.H.,1987; wolfram mathworld(2), 2018).

B-Spline; eğri uydurmada en çok kullanılan yöntem bu yöntemdir. B-spline, bezier eğrisinin Şekil 2'de ki gibi genelleştirilmiş halidir (Bartels R.H.,1987; Wolfram Mathworld(3), 2018).



Şekil 2. B-spline eğrisi oluşumu

Düğüm vektörü olarak bilinen bir vektör tanımlanırsa;

$$T = \{t_0, t_1, \dots, t_m\} \quad (3)$$

(3) numaralı bağıntı $t_i \in [0,1]$ olacak şekilde artan bir dizi ve kontrol noktaları P_0, \dots, P_n olacak şekilde derecesi,

$$p \equiv m-n-1 \quad (4)$$

Olarak hesaplanır(4). Düğüm, $t_{p+1}, \dots, t_{m-n-1}$ iç şekline dönüşüp iç düğüm olarak adlandırılır. Temel fonksiyon (5) ve (6) eşitliğindeki gibi

$$N_{i,0}(t) = \begin{cases} 1 & \text{eğer } t_i \leq t < t_{i+1} \text{ ve } t_i < t_{i+1} \\ 0 & \text{diğer türlü} \end{cases} \quad (5)$$

$$N_{i,j}(t) = \frac{t-t_i}{t_{i+j}-t_i} N_{i,j-1}(t) + \frac{t_{i+j+1}-t}{t_{i+j+1}-t_{i+1}} N_{i+1,j-1}(t) \quad (6)$$

Bulunur(Wolfram Mathworld(3), 2018). $j = 1, 2, \dots, P$ olduğu durumda curve çizgisi,

$$C(t) = \sum_{i=0}^n P_i N_{i,p}(t) \quad (7)$$

(7) eşitliği ile bir B-spline çizgisine dönüşür (Hsiao, 1996; Hsiao ve Chen 1997; Chen ve Lin., 2000; Huang ve Tai, 2000; Hu ve Sheu, 2000).

N.U.R.B.S.(Non-Uniform, Rational, B-splines), Düzensiz, Rasyonel, B-splinelardır. Tasarımcının sertlik ve süreklilik açısından test ederek eğrileri veya yüzeyleri tanımlamak için kullandığı denklemlerdir. Eğriyi yerel olarak değiştirebilmenin yanı sıra, birçok model, köşe kümelerinin farklı şekilde ağırlık oluşturulmasına izin verir. Bazen tolerans olarak adlandırılan ağırlık, eğrinin köşeler kümesine ne kadar sığması gerektiğini belirler. Eğriler, tüm noktaların köşeler tarafından gevşek bir şekilde kontrol edilmesine kadar uzanabilir. Bu eğri tipi, üniform olmayan rasyonel B-spline veya NURBS eğrisi olarak adlandırılır (Piegl ve Tiller, 2001; Ma ve Kruth, 1998). Rasyonel bir eğri (veya yüzey), her kontrol noktasıyla ilişkili bir ağırlığa sahip olan bir eğridir. Bir N.U.R.B.S. eğrisi,

$$C(t) = \frac{\sum_{i=0}^n N_{i,p}(t)w_i P_i}{\sum_{i=0}^n N_{i,p}(t)w_i} \quad (8)$$

(8) eşitliği ile bulunur. Burada p diziyi, $N_{i,p}$ B-spline'nin temel fonksiyonunu, P_i kontrol noktasını ve P_i 'nin w_i ağırlığına bağlı homojen noktasının son ordinatı ise P_i^w 'dir (Chen vd., 2000; Wolfram Mathworld(4), 2018).

Bu eğriler, yüzey veya katı model oluşturmada rahatlıkla kullanılabilirler.

Fakat bozuk parçaların üzerinden elde edilen verilerde bozuk kısımlara ait verileri de içermekte ve bozuk eğri oluşumuna neden olmaktadır (Ye vd., 2008; Huang ve Tai, 2000).

Bozuk olan eğriler, son matematiksel modeller ile hızlı bir şekilde düzeltilmesi gerekmektedir (Dung ve Tjahjowidodo, 2017).

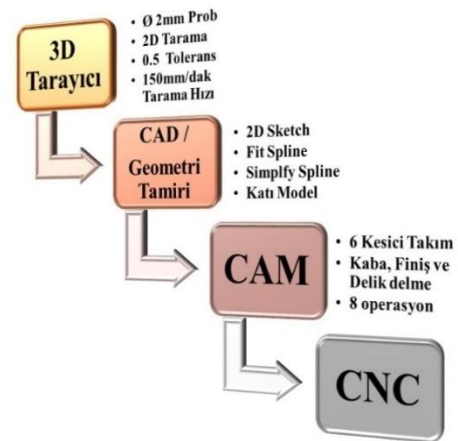
Bu çalışmada, aşınmış ve deforme olmuş plastik enjeksiyon kalıbına ait bir elemanın TM uygulaması ile yeniden imal edilerek tekrar çalışması sağlanmıştır. Genelde TM ve imalat için harcanan süre üretiminde durması anlamına gelmektedir. Üretimin durması ekonomik açıdan kayıpları da doğurmaktadır. Ekonomik kayıplar göz önüne alınırsa arızaların oldukça hızlı düzeltilmesi istenir. Bu süreç, Huang ve Tai (2000) çalışmasındaki gibi, bozuk olan kalıp elemanı temaslı çalışan 3D tarayıcıda taranarak iki boyutlu curve çizgileri elde edilmesi ile başlamıştır. Elde edilen curve çizgileri DWG formatında SolidWorks programında iki boyutlu olarak açılmıştır.

İlk olarak çizim verisi üzerinde, Ye vd. (2008) çalışmasındaki bahsettiği gibi fit-spline komutu kullanılmış ardından, simplify spline ve çizimin simetrik yapısından yararlanarak bozuk yüzey geometrisi iyileştirilmiştir. İki boyutlu çizime yükseklik verilerek katı model elde edilmiştir. Katı model daha sonra SolidCAM yazılımına aktarılmıştır. CAM yazılımında CNC dik işleme merkezinde işlenmek üzere bilgisayar ortamında kesici takım, kesme parametreleri, kesim stratejisi, tolerans bilgileri girilerek simülasyon hazırlanmıştır. Başarılı simülasyon neticesinde CNC için G ve M kodları oluşturularak parça işlenmiştir. Elde edilen parça kalıp içindeki yerine monte edilerek enjeksiyon baskısı yapılmış çıkan ürünün başarı bir şekilde işlevini yerine getirmesi durumu incelenmiştir.

Ayrıca çalışmanın başarılı olduğunu kanıtlayan iki karşılaştırma yapılmıştır. Tamir edilen kritik kalıp elemanın kullanıldığı kalıptan çıkan ürün ile başka bir ara ürün (şekilli kesilmiş temperli cam) hassas montajlanmaktadır. Çalışma sonunda bu şekilli cam aynı yöntemle 2D taranmıştır. Elde edilen tarama verileri bu çalışmada tamir edilmiş tarama verileri karşılaştırılmıştır. Ayrıca şeklin tamir edilen verilerin üzerinde simetri özelliğini kullanabileceğimiz ve doğru olduğu düşünülen aynalama eksenini kullanılmıştır. Aynalama eksenini tamir edilmiş kısım ile simetrisi olan ve düzgün yüzeye ait veriler ile karşılaştırma olanağı sunacaktır.

3. Materyal ve Yöntem

Deniz maskesi imalatında kullanılan çerçeve kalıbının arızalı kritik parçası sökülerek kalıptan ayrılmıştır. Bozuk kalıp elemanı temaslı tarayıcı da taranacağı için üzerindeki geometriyi bozan kalıntılardan kurtulmak üzere kumlama işlemine tabi tutulmuştur. Temizlenen bozuk parça Şekil 3 'de verilen iş akış şemasına göre tekrar imal edilmiştir.



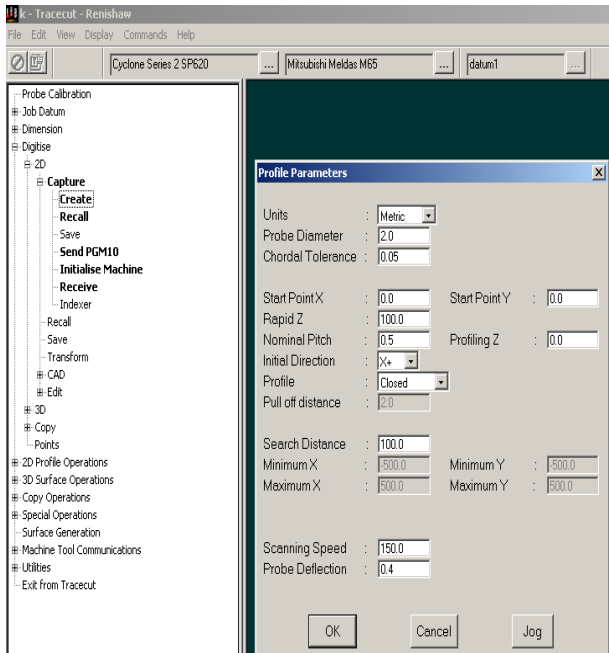
Şekil 3. TM uygulaması iş akış şeması

Bozuk parça, temaslı çalışan Renishaw Cylone seri 2 ile dış geometrisi iki boyutlu olarak tarama yapabilmek üzere Şekil 4'deki gibi bağlanmıştır.



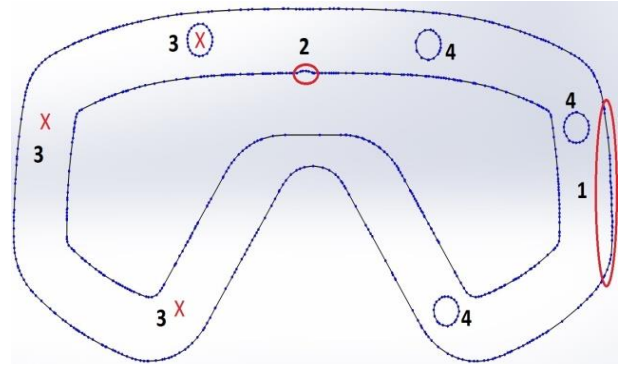
Şekil 4. Kalıp elemanının 3D Taranması

Tarama sırasında hassas değer alabilmek için çapı 2mm olan prob kullanılmıştır. Tarama parametreleri, 5µ hassasiyet ve 150mm/dakika tarama hızında Şekil 5'deki gibi seçilmiştir. Tarama yazılımı olarak, Renishaw Tracecut kullanılmıştır.



Şekil 5. Tarama Parametreleri

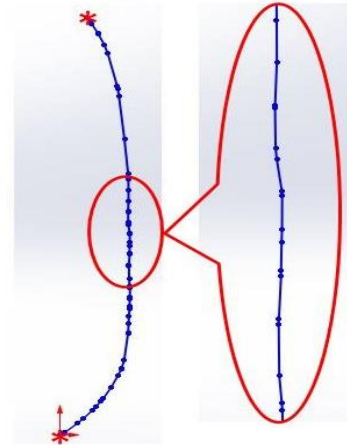
2D tarama sonucunda içerisinde bozuk olan geometride içeren tarama verisi DWG formatında kaydedilerek SolidWorks programında 2D Sketch olarak açılmıştır. Tarama verileri üzerinden yapılan ölçüm ile parçanın uzunluğu 134,5mm, genişliği 64,5mm olarak hesaplanmıştır. Parçanın yüksekliği konvansiyonel olarak dijital kumpas ile 6,35mm olarak ölçülmüştür. Verilerin ham hali ve deformasyonun olduğu bölgeler Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Deformasyonu da içeren ham tarama verilerinin görünümü

Ham tarama verileri, 753 adet nokta dizilimi içermekte ve noktalar arası düz çizgi(Line) ile bağlanarak ana şekli oluşturmaktadır. Şekil 6.'da X işaretli olan yerler ise olması gereken deliklerin yerini yaklaşık olarak belirtmektedir. Deformasyonun yüksek olması nedeni bu noktalarda delik taraması yapılamamıştır.

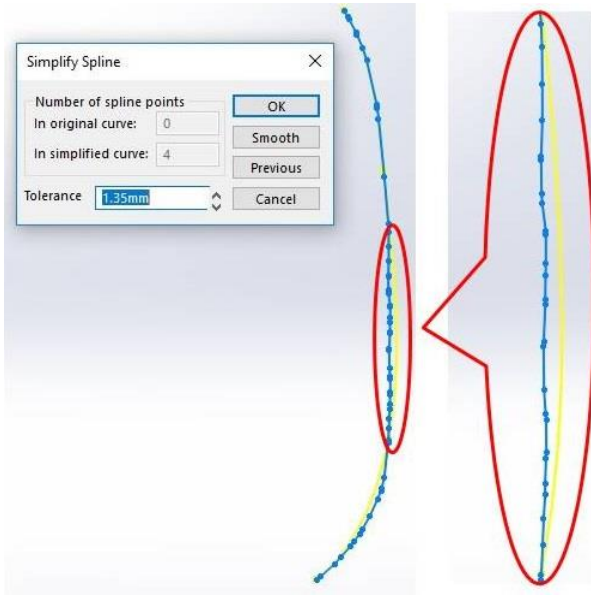
İlk olarak Şekil 6'da 1 numara ile gözüken deformasyon ele alınmıştır. Şekil 7'de düzensizliğin başladığı ilk ve son noktadan önce ve sonra gelen 7. noktalardan (yıldız noktalar) bozuk olan kısım tamir edilmek üzere çıkartılmıştır. Çizginin ilk ve son kısmında 7 adet düzgün noktanın bırakılmasının sebebi eğrinin tamiri sırasında düzgün olan bu dizilimden faydalanılması planlanmıştır. Kesilerek alınan deformasyonu içeren ilk eğri Şekil 7'de ham hali ve deformasyona ait bir kısmın hüresel olarak büyütülmüş görüntüsü verilmiştir.



Şekil 7. Ana geometriden çıkartılmış. 1. deformasyon bölgesi

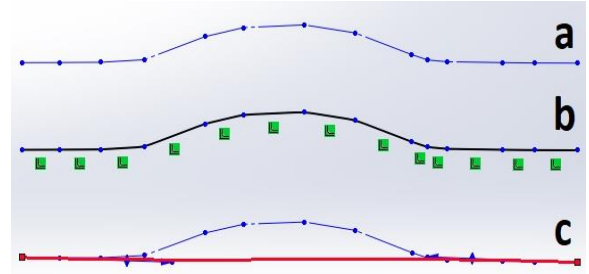
Daha sonra çıkarılan eğrinin üzerinde fit spline komutu uygulanmış ve noktalı düz çizgi bağlantılı yapıdan spline çizgisi şekline dönüştürülmüştür. Fit spline komutunda dönüşüm toleransı iyi sonuç vermesi ve düşük hesaplama süresi olması için 0,005mm seçilmiştir. Spline çizgisine dönüştürmemizin nedeni, spline eğrilerinde doğrultma ve düzeltme yapabilen interpolasyon içeren Simplify spline komutunda çalışılabilmektir.

Şekil 8, spline çizgisinin Simplify spline komutu ile tamir edilmesini göstermektedir. Simplify spline, seçimi yapılan noktaların normalini oluşturacak şekilde interpolasyon yaparak olması gereken eğimi tekrar modellemektedir. Gopi ve Manocha (1999) çalışmasında yumuşatmanın (Simplify) CAD programlarında genelde N.U.R.B.S. eğrileri yöntemi kullanılarak yapılmaktadır demıştır. Piegl ve Tiller (2001), çalışmasında ise spline üzerinde yapılan çalışmalarda dikkat edilmez ise formun bozulmasına sebep olunabileceğini de belirtmiştir. Bu bilgi ışığında Simplify spline komutunda birkaç farklı tolerans değeri denenmiş en düzgün sonuç alındığı düşünülen tolerans 1.35mm olarak girilmiştir.



Şekil 8. Simplfy Spline komutu ile düzeltme işlemi

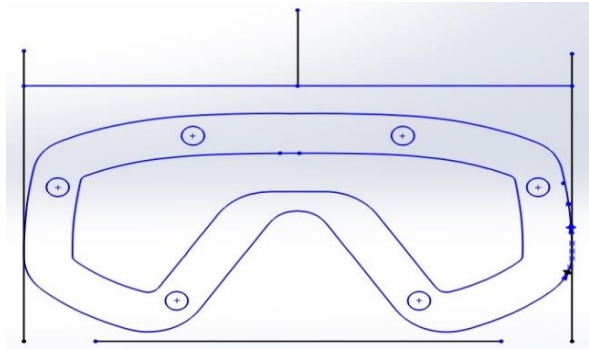
Aynı basamakları içeren yöntemi kullanarak Şekil 6'daki 2 numaralı deformasyon ele alınmış ve Şekil 9(a)'da görüldüğü üzere deformasyonun başladığı noktalardan dört önce ve dört sonraki noktalar dâhil olacak şekilde bölge çıkartılmıştır. Şekil 9(b)'de ise fit spline komutu ile noktalı düz çizgi şekline spline çizgisine dönüştürülmüştür. Fit spline komutu toleransı iyi sonuç vermesi ve düşük hesaplama süresi olması için 0,007mm seçilmiştir. Çalışmada tolerans değerleri olarak 0,005-0,007mm gibi değerler seçilmiştir. Bu değer aralığı enjeksiyon kalıpcılığı sektöründe kabul görmüş en kötü tolerans değeri olan 0,05mm tolerans değerinden düşüktür. Şekil 9(c)'de ise Simplify spline ile deformasyon basit ve hızlı şekilde düzeltilerek aşınmış olan kısım tamir edilmiştir. Simplify spline toleransı 0,45mm seçilmiştir.



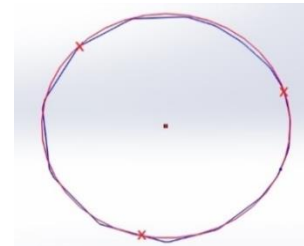
Şekil 9. Ham tarama verisi(a), Fit Spline ile Spline dönüşümü(b), Simplfy Spline ile düzeltilmiş geometri(c)

Şekil 6'da son kalan 3 numara ile belirtilen ve tarama verileri olmayan X merkezli deliklerin oluşturulmasına geçilmiştir. Bu aşamaya gelindiğinde şeklin 1 numaralı tamiri ile aynalama eksenini ortaya çıkarmıştır. Şeklin simetri özelliğinden yararlanarak sağ bölgedeki 4 ile gösterilen deliklerin aynalama (Mirror) işlemi yapılarak sol bölgede Şekil 10'da görüldüğü gibi oluşturulması sağlanmıştır. Deliklerin, merkezi belli olan tam bir daire dönüşümü Şekil 11'de görüldüğü gibi üç noktadan geçen daire komutu (perimeter circle) ile oluşturulmuştur.

Ana geometri deformasyon bölgeleri tamir edilmiş ve son hali fit spline komutu ile spline eğrisine dönüştürülmüştür. Şekil 10'da tamir edilmiş spline eğrileri de ana geometriye ayrıldığı noktalardan eklenmiş şekilde gözükmemektedir.



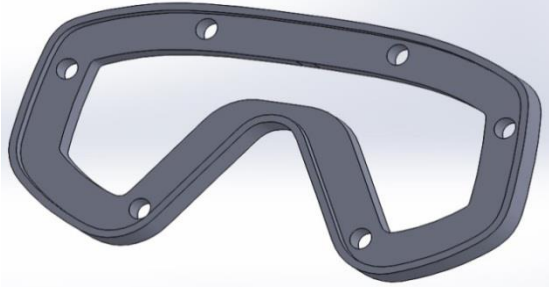
Şekil 10. Tamir edilmiş ve düzeltilmiş geometri



Şekil 11. Üç noktadan geçen daire çizimi (perimeter circle) ile merkezi belli olan daire oluşumu

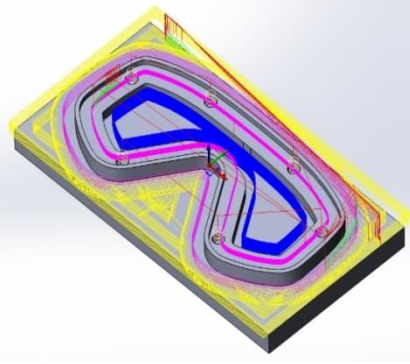
Şekil 10. üzerinde düzeltilmiş olan kısımların kontrolünü yine şeklin simetrisi özelliğinden yararlanarak sağ bölgesi ile sol bölgesi üst üste düşürülerek kontrol edilmiştir. Karşılaştırma sonucu

başarılı olduğu anlaşılan geometrik düzeltme işleminin içerdiği 2D çizim alanına yükseklik vererek Şekil 12'deki katı modele dönüştürülmüştür.



Şekil 12. Geometrisi tamir edilmiş parçanın katı görünüşü

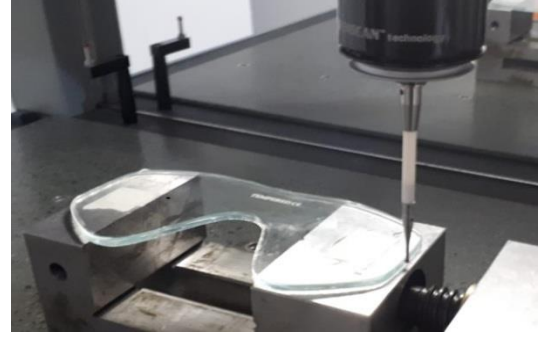
Üç boyutlu modelin elde edilmesi ile SolidCAM yazılımı kullanılarak takım yolu çıkarılması işlemine geçilmiştir. CAM işlemi, Altı farklı takım kullanılmıştır. CAM işlemi sonucu çıkan takım yollarının görünüşü Şekil 13'da verilmiştir.



Şekil 13. Takım yolu simülasyonu sonucu elde edilen görüntü

Elde edilen takım yolları, Hardford marka CNC dik işleme merkezinin Mitsubishi marka Meldas M65 model Kontrol ünitesinde çalışabilecek şekilde G ve M kodlarına dönüştürülmüştür. Yeni kalıp elemanın talaş kaldırılarak çıkartılacağı ham parçanın boyutları derinlik 80mm, genişlik 153mm ve yükseklik 20mm şeklinde hazırlanmıştır. İşlenecek parçanın malzemesi, iyi parlak yüzey oluşabilecek, kolay işlenebilirlik özelliği gösteren, kalıp malzemesi olarak kullanılan IMPAX (DIN1.2738-40CrMnNiMo8-6-4) malzeme seçilmiştir.

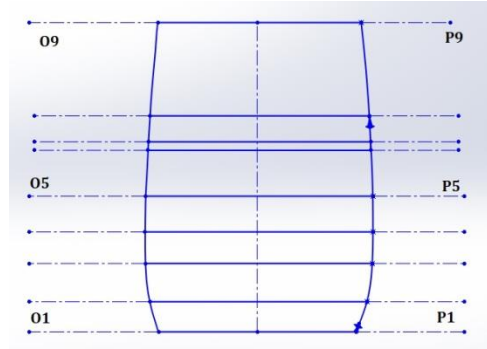
Çalışmanın başarısını ortaya çıkartmak için arızalı bölgelerden Şekil 6'da görünen 1 numaralı kısmın karşılaştırmalı hassasiyet analizi yapılmıştır. Bu karşılaştırma iki farklı yöntemle yapılmıştır. İlk çalışma arızası giderilen kalıptan çıkan silikon ürün ile Şekil 14'de görünen lazer kesim temperli cam hassas bir şekilde montajlanacaktır. Bu cam üzerinden alınan tarama verisi ile tamir edilmiş bozuk kalıp elemanı üzerindeki nokta koordinatları mikron düzeyinde karşılaştırılmıştır.



Şekil 14. Lazer kesim temperli cam üzerinde bozuk kesimin taranması

İkinci karşılaştırma tekniğinde ise çalışmanın bozuk verisinin tamir edilmesi ile orta eksen belirlemiştir. Bu eksen simetrik şeklin aynalama eksenidir. Bu aynalama eksenini simetrik şeklin sağ ve sol bölümlerinin karşılaştırılmasına yardımcı olarak kullanılmıştır.

Her iki yöntemdeki karşılaştırma Şekil 15'de görüldüğü üzere CAD ortamına mikron hassasiyetinde yapılmıştır.



Şekil 15. CAD ortamında yapılan karşılaştırma görüntüsü

Şekil 15'de sağ tarafta tamir görmüş kısmın görüntüsü sol tarafta ise temperli cam üzerinden alınmış görüntü ve aynalama eksenini kullanarak çıkartılan simetrik kısmın görüntüsü yerleştirilmiştir. Tamir görmüş spline çizgisi üzerinde doğrulamayı kontrol amaçlı 9 nokta (P1..P2) seçilmiştir. Şeklin sağ tarafında ise yatayda aynı hizaya karşılık gelen ve karşılaştırmada kullanılacak (O1..O9) noktaları oluşturulmuştur. Her iki nokta grubunun noktasal verisi kayıt altına alınmıştır.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma, yüksek baskı adetlerinin olduğu ve uzun süre çeşitli kuvvetler altında ve sürtünmelere maruz kalmadan kaynaklı bozuk kalıp elemanlarının kısa süreler içerisinde yeniden üretilmesini içeren TM uygulaması olmuştur.

2D tarama verileri ile başlanan çalışma CNC dik işleme tezgâhında imalat ile tamamlanmıştır. (Şekil 16.)



Şekil 16. İşlenmiş yeni kalıp elemanı

Bozuk tarama verilerinin düzeltilmesi ile ilgili literatürde başarılı birçok matematiksel model içeren çalışmalar bulunmaktadır. Fakat süreçlere bakıldığında geometrilerin düzeltilmesi için oldukça fazla zaman harcadığı görülmektedir. Bu çalışmada tasarım ve imalat için harcanan toplam sürenin özellikle tasarım kısmında matematiksel formül içeren basit komutları kullanarak daha etkin süre kullanıldığı ortaya çıkmıştır.

Örneğin, Milroy M.J. vd., (1995) çalışmasının sonucunda “tamir için kullanılan matematiksel yöntemler güvenilir sonuçlar verir, ancak zaman alıcıdır” ifadesini kullanmaktadır.

Piegl ve Tiller (2001) çalışmasının sonucunda çalıştığı yöntemin iki büyük problemle karşılaşabileceği ilkinin son derece zaman alıcı ve karmaşık yüzeylerde daha kötü sonuçlar ile karşılaşabileceğini belirtmiştir.

Ma W. Vd. (1998), makalesinde aynen şu ifadeyi “Parametre optimizasyonu süreci, düzeltme veya yüzeylerin interpolasyonu parametrelerini geliştirir. Bununla birlikte, işlem süresi, parametre optimizasyonu olmayan yaklaşımdan çok daha uzundur.” Kullanmıştır.

Bu durum kritik önemi olan kalıpların durma süresini uzatmaktadır. Ekonomik ve zaman açısından kayıpların yaşanmasına neden olmaktadır. Günümüzde CAD programlarının standart içeriklerinde bulunan bazı tamir ve düzeltme komutları bu çalışmada olduğu gibi TM içeren kalıp tamir süreci üç gün gibi kısa bir sürede tamamlanmıştır. Çalışmada bozuk tarama verilerinin kısa süre içinde SolidWorks CAD programı içerisinde bulunan spline dönüştürme komutu fit spline ve spline'ları interpolasyon yaparak düzeltebilen Simplify spline komutları kullanılarak kanıtlanmıştır. Ayrıca çalışmada kullanılmayan fakat elde edilmesi istenen eğriye ait matematiksel denklem biliniyorsa bu eğrilerin kolayca oluşturulabilecek equation driven curve komutu da bulunmaktadır.

Çalışmanın başarı doğrulaması için kullanılan iki yöntemde elde edilen veriler tablo 1.'de \pm mm fark olarak verilmiştir. İlk nokta eşit uzaklıkta alındığından 0 çıkmıştır. Diğer noktalar kıyaslandığında $\pm 0,05$ mm değerinin altında kaldığı görülmektedir. Hatta bazı noktalarda 0,01mm altında hata görülmektedir. Bu iki kıyaslama neticesinde CAD ortamında çalışan basit spline oluşturma ve düzeltme komutlarından başarılı sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

Tablo 1. Tamir gören 1 numaralı kısmın temperli cam ve simetrisinin karşılaştırma verileri

Nokta	Orijinal sol kenar üzerindeki noktalara göre sapma değeri ($\pm\Delta$ mm)	Temperli cam üzerindeki noktalara göre sapma değerleri ($\pm\Delta$ mm)
P1	0	0
P2	0,006	0,008
P3	0,004	0,0074
P4	0,005	0,0092
P5	0,0078	0,018
P6	0,028	0,022
P7	0,034	0,023
P8	0,023	0,018
P9	0,0189	0,0147

Çalışma süresince gerek CAD ortamında gerek CAM çalışmasında toleranslar tablo 1.'e göre 5μ hassasiyet altında korunduğu görülmüştür.

Elde edilen yeni kalıp elemanı kalıp seti içerisindeki yerine monte edilerek deneme baskısı alınmıştır. Alınan baskı numunesi, kalıp seti, arızalı eski parça ve TM ile üretilmiş yeni parça Şekil 17'de verilmiştir.



Şekil 17. TM ile üretilmiş yeni kalıp elemanın deneme baskısı ve kalıp

Sonuç olarak, çalışmayan arızalı kalıp elemanının 2D tarama, tarama verilerinin düzeltilmesi ve CAD/CAM uygulaması içeren süreçleri üç günlük gibi kısa sürede ve sürdürülebilir imalata uygun olarak düşük, maliyet,

tüketim ve karbon ayak izi ile çalışılmış ve kalıp çalışır hale getirilmiştir.

Teşekkürler

Tan itriyat sanayi ve tic. şti.'ye arızalı kalıplarının onarımı maksatlı kalıplarının üzerinde çalışma imkânı sunduğu için, S.D.Ü. YETEM Merkezi Tasarım ve İmalat merkezinin imkânlarının kullanılmasından dolayı teşekkür ederim.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

Ablameyko, S., Pridmore, T., 2000. Machine Interpretation of Line Drawing Images Technical Drawings, Maps and Diagrams, Springer-Verlag London Berlin Heidelberg ISBN 978-1-4471-1202-0.

Altuğ, M., Zeyveli, M., 2011. Tersine Mühendislik Süreçleri ile Birlikte Kullanılan CAD Programlarının Ahp Analytic Hierarchy Process) Yöntemi ile Seçimi, 6. International Advanced Technologies Symposium, 206-209.

Ayyıldız, M., Çiçek, A., 2010. Düz Dişli Tasarımında Bir Tersine Mühendislik Uygulaması, SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi, 14(1), s. 39-44.

Ayyıldız, M. ve Göloğlu, C., 2009. Hasarlı Kalıp Elemanlarının Onarılması Amaçlı Tersine Mühendislik Destekli Bir Çerçeve Çalışması 5.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 1, 1437-1441.

Bartels, R.H., Beatty, J.C., Barsky, B.A., 1987. An Introduction to spline for use in computer graphics and geometric modeling, Morgan Kaufmann Publishers, Inc. Los Altos, California 94022.

Berber, C., 2006. Üç Boyutlu Tarayıcılar İle Veri Toplanması ve CAD Ortamına Değişik Formatlarda Aktarılması, yayımlanmış yüksek lisans tezi Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İstanbul.

Budak, I., Hodolic, J., Sokovic, M., 2005. Evelopment Of A Programme System For Data-Point Pre-Processing In Reverse Engineering. Journal of Materials Processing Technology, 162-163, 730-735.

CADArtiflex, The Premium Provider of learning products and solutions, chepter 2 www.cadartiflex.com, erişim tarihi: 12.03.2018

Chen, L.C., Lin, G.C.I., 2000. Reverse engineering in the design of turbine blades- a case study in applying the MAMDP, Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 16, 161-167.

Dung, V.T., Tjahjowidodo, T., 2017. A direct method to solve optimal knots of B-spline curves: An application for non-uniform B-spline curves fitting, PLoS ONE, 12(3), 1-24.

DMG MORI, 2018. Additive Manufacturing by powder nozzle, <https://en.dmgmori.com/products/machines/advanced-technology/additive-manufacturing/powder-nozzle>, erişim tarihi: 20 Mart 2018

Giesecke, F.E., Mitchell, A., Spencer, H.C., Hill, I.L., Dygdon, J.T., Novak, J.E., Lockhart, S., Goodman, M., Johnson, C.M., 2016. Technical Drawing With Engineering Graphics, Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall. ISBN 13: 978-0-13-430641-4.

Goetsch, D.L., Nelson, J. A., Chalk, W S., 1989. Technical Drawing Fundamentals CAD Design, Delmar Publishers Inc. 3 Columbia Circle, Albany, New York, 12212-5015.

Gopi, M., Manocha, D. "Simplifying spline models" Computational Geometry 14 (1999) 67-90

Hollister, S.M., 2001. The Dirty Little Secrets of NURBS, New Wave Systems Inc., <http://pilot3D.com/NurbSecrets.htm>, erişim tarihi: 08.03.2018

Hsiao S.W., 1996. Computer aided shape design of an underwater hull, Naval Engineers Journal, 108 (1), 37-47.

Hsiao, S. W., Chen, C. H., 1997. A semantic and shape grammar based approach for product design, Design Studies, 18, 275-296.

Hsiao, S. W., Chuang, J.C., 2003. A reverse engineering based approach for product form design, Design Studies, 24, 155-171.

Hu, W.C., Sheu, H.T., 2000. Quadratic B-spline for Curve Fitting, Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(A), 24 (5), 373-381.

Huang, M.C., Tai, C.C., 2000. The Pre-Processing of Data Points for Curve Fitting in Reverse Engineering, Journal of Advanced Manufacturing Technology, 16, 635-642.

Karabulut, H., Sarıdemir, S., 2009. Farklı Supap Açık Kalma Süreleri Ve Kursları İçin Klasik Spline Yöntemi İle Elde Edilen Kam Profillerinin

- Karşılaştırılması, J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ., 24(3), 509-515.
- Lombart, M., 2008. Solid Works Surfacing and Complex Shape Modeling, Published by Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, Indiana. ISBN: 978-0-470-25823-1.
- Ma, W., Kruth, J.P., 1998. NURBS Curve and Surface Fitting for Reverse Engineering, Int. Journal of Advanced Manufacturing Technolgy, 14, 918-927.
- Milroy, M.J., Bradley, C., Vickers G.W., Weir, D.J., 1995. G' continuity of B-spline surface patches in reverse engineering, Computer-Aided Design., 27(6), 471-478.
- Piegl, L.A., Tiller, W., 2001. Parametrization for surface fitting in reverse engineering, Computer-Aided Design, 33, 593-603.
- Ruan, J.K., Ke, Y.L., Fan, S.Q., Dong, H.Y., 2007. Research on rapid repairing techniques for auto panel dies Journal of Materials Processing Technology, 187-188, 69-72.
- Sokovic, M., Kopac J., 2006. RE (reverse engineering) as necessary phase by rapid product development, Journal of Materials Processing Technology, 175, 398-403.
- SolidWorks, SolidCAM, 2018, Teknolojik Yazılımlar, BüyükdereCad, Stad Han 85, Mecidiyeköy, İstanbul.
- Teke, İ., Yandayan, T., Karadayı, R., 2013. Koordinat Ölçüm Metrolojisi, Üç Boyutlu Ölçüm Cihazı (CMM) Modernizasyonu, Kalibrasyonu, Verifikasyonu, Dünyada Ve Ülkemizdeki Durum, VIII. Ulusal Ölçüm bilim Kongresi, s. 1-11.
- Thoma, M., 2013. Spline interpolation, <https://martinthoma.com/spline-interpolation/>, erişim tarihi: 11.03.2018.
- Ye, X., Liu, H., Chen L., Chen, Z., Pan, X., Zhang, S., 2008. Reverse innovative design—an integrated product design methodology, Computer-Aided Design, 40, 812-827.
- Yükselen, M.A., Bezier eğrileri, B-spline eğrileri, Uygulamalı Sayısal Yöntemler Ders Notları, erişim tarihi: 12.03.2018, <http://web.itu.edu.tr/yukselen/HM504/02Ek-%20Bezier%20e%F0rileri.pdf>
- Wolfram MathWorlds (1), spline, <http://mathworld.wolfram.com/Spline.htm>, erişim tarihi:14.03.2018
- Wolfram MathWorlds (2), Bezier curve, <http://mathworld.wolfram.com/BezierCurve.html>, erişim tarihi:14.03.2018
- Wolfram MathWorlds (3), B-spline, <http://mathworld.wolfram.com/B-Spline.html>, erişim tarihi:14.03.2018
- Wolfram MathWorlds (4), NURBS, <http://mathworld.wolfram.com/NURBSCurve.html>, erişim tarihi:14.03.2018